

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS -
AGRONOMIA
CAMPUS RIO VERDE**

FRANCIELE DE FREITAS SILVA

**USO DE POLIHALITA NA ADUBAÇÃO DA SOJA E SEU EFEITO
RESIDUAL NA PRODUÇÃO DE MILHO.**

**RIO VERDE, GO
2019**

FRANCIELE DE FREITAS SILVA

**USO DE POLIHALITA NA ADUBAÇÃO DA SOJA E SEU EFEITO RESIDUAL
NA PRODUÇÃO DE MILHO.**

Dissertação apresentada à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde como exigência parcial para obtenção do título de Mestra em Ciências Agrárias – Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Castoldi.

RIO VERDE, GO

2019

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

SSI586 Silva, Franciele de Freitas
u Uso de polihalita na adubação da soja e seu efeito
 residual na produção de milho / Franciele de Freitas
 Silva; orientador Gustavo Castoldi; co-orientador
 Alaerson Maia Geraldine. -- Rio Verde, 2019.
 40 p.

Dissertação (em Ciências Agrárias - Agronomia) --
Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2019.

1. Glycine max. 2. Zea mays. 3. Cloreto de
potássio. 4. Poly4. I. Castoldi, Gustavo, orient.
II. Geraldine, Alaerson Maia, co-orient. III. Título.



INSTITUTO FEDERAL
Goiano

Repositório Institucional do IF Goiano - RIIF Goiano
Sistema Integrado de Bibliotecas

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor:

Matrícula:

Título do Trabalho:

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 11/02/2020

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde 10/02/2020
Local Data

Françiele de Freitas Silva
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Justino Castoldi Jr.
Assinatura do(a) orientador(a)

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AGRÁRIAS-AGRONOMIA

USO DE POLIHALITA NA ADUBAÇÃO DA SOJA E SEU
EFEITO RESIDUAL NA PRODUÇÃO DE MILHO

Autora: Franciele de Freitas Silva
Orientador: Dr. Gustavo Castoldi

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de
Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

APROVADA em, 30 de outubro de 2019.


Prof. Dr. Claudio Hideo Martins da Costa
Avaliador externo
UFG – Jataí


Prof. Dr. Carlos Riberio Rodrigues
Avaliador interno
IF Goiano – Campus Rio Verde


Prof. Dr. Gustavo Castoldi
Presidente da banca
IF Goiano – Campus Rio Verde

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo o dom da vida e por ter me ajudado a chegar até aqui. Por sempre me abençoar, iluminar, guiar, proteger e pela a perseverança concedida na concretização desta realização. À Nossa Senhora Aparecida minha “mãezinha lá do céu” que intercede por mim junto a Deus.

Aos meus pais, Valdeci Vieira da Silva e Francisca Pereira de Freitas da Silva, que sempre me apoiam e não medem esforços para que eu realize tudo o que almejo e sempre me dão força, incentivam e aconselham para nunca desistir dos meus objetivos.

Ao meu irmão, Wagner de Freitas Silva, pelo apoio em todos os momentos, conselhos, paciência e incentivo para superar todas as dificuldades.

Ao meu orientador Dr. Gustavo Castoldi, pela oportunidade, confiança, paciência, apoio, ensinamentos e contribuições para o meu futuro profissional e pessoal desde meu ingresso no mestrado.

Ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia, pela oportunidade de qualificação profissional e crescimento pessoal.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa.

A todos os professores do Instituto Federal Goiano - Campus de Rio Verde, que contribuíram para minha formação.

Agradeço aos professores Dr. Cláudio Hideo Martins da Costa e Dr. Carlos Ribeiro Rodrigues, por terem aceitado participar da minha banca.

A todos que me ajudaram, em especial: Thomas Cavalcante, Alice Albert, Matheus Nogueira, Gabriel Castoldi, Gabriel Peres, João Sevilla, Diego Ribeiro, Jorge, Iuri, Victor, Bruno, Janyne e Lorena.

Ao Laboratório de Química Agrícola e Laboratório de Drones e Vant's na Agricultura, pelo suporte e parceria ao longo do mestrado.

À empresa Sirius Minerals por todo o apoio na realização deste trabalho.

E a todos que de alguma forma contribuíram, direta ou indiretamente, para a conclusão deste trabalho.

Suba o primeiro degrau com fé. Não é necessário que você veja toda a escada. Apenas dê o primeiro passo.

Martin Luther King Jr.

BIOGRAFIA DA AUTORA

Franciele de Freitas Silva nasceu em Santa Helena de Goiás – GO, em 20 de dezembro de 1993, filha de Valdeci Vieira da Silva e Francisca Pereira de Freitas da Silva. cursou Engenharia Agrícola na Universidade Estadual de Goiás- Campus Santa Helena de Goiás, entre 2011 e 2015. Em setembro de 2017 ingressou no IF Goiano – Campus Rio Verde, no programa de pós-graduação *Stricto Sensu*, Mestrado em Ciências Agrárias – Agronomia, com linha de pesquisa em tecnologias sustentáveis em sistemas de produção e uso do solo e água.

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 - Produção acumulada de grãos no sistema soja-milho em função da adubação residual com combinações e fontes de potássio.....17
- FIGURA 2 - Balanço simplificado de potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em um sistema de sucessão soja-milho em função da adubação (base soja e residual no milho) com combinações e fontes de K.....18
- FIGURA 3 - Concentração de cálcio (A), magnésio (B), potássio (C) e enxofre (D) no solo após o cultivo do sistema de sucessão soja-milho, em função da adubação (base soja e residual no milho) com combinações e fontes de K.....19

LISTA DE TABELA

TABELA 1 - Parâmetros básicos de fertilidade do solo da área experimental anterior à implantação do ensaio. Rio Verde, GO, Brasil.....	11
TABELA 2 - Quantidade de nutrientes aplicados em cada tratamento (como adubação de cobertura no momento da semeadura da soja).....	12
TABELA 3 - Parâmetros produtivos da soja (cultivar Flecha IPRO) em função da adubação com combinações e fontes de potássio.....	14
TABELA 4 - Exportação de potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca) e enxofre (S) via grãos de soja, cultivar Flecha IPRO, em função da adubação com combinações e fontes de potássio.....	15
TABELA 5 - Parâmetros produtivos do milho, híbrido P3446, em função da adubação residual com combinações e fontes de potássio.....	15
TABELA 6 - Exportação de potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca) e enxofre (S) via grãos de milho, híbrido P3446, em função da adubação residual com combinações e fontes de potássio.....	16

LISTA DE SIGLAS

Al	- Alumínio
Ca	- Cálcio
CaO	- Óxido de Cálcio
CTC	- Capacidade de troca de cátions
CV	- Coeficiente de variação
DAE	- Dias após a emergência
K	- Potássio
KCl	- Cloreto de Potássio
KCl Plus	- Cloreto de Potássio, calcário e gesso
K ₂ O	- Óxido de Potássio
LSD	- Diferença de significância menor
MAP	- Fosfato Monoamônico
Mg	- Magnésio
MgO	- Óxido de Magnésio
MO	- Matéria Orgânica
MS	- Massa seca
N	- Nitrogênio
S	- Enxofre
SOP	- Sulfato de Potássio
P	- Fósforo
P ₂ O ₅	- Pentóxido de fósforo
pH	- Potencial hidrogênico
V	- Saturação por bases

RESUMO

SILVA, FRANCIELE DE FREITAS. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, outubro de 2019. **Uso de polihalita na adubação da soja e seu efeito residual na produção de milho.** Orientador: DSc. Gustavo Castoldi. Coorientadores: DSc. Alaerson Maia Geraldine e DSc^a. Mariângela Brito Freiberg.

A sucessão soja-milho é o principal sistema de produção de grãos do Brasil. Esse sistema é extremamente exigente em fertilidade, de modo que o manejo da adubação é fundamental para fornecer nutrientes de forma equilibrada e garantir a produtividade com menor custo. A polihalita é um mineral fonte de K e de outros nutrientes, recentemente explorado em larga escala, e que pode ser usado como fertilizante para a produção vegetal. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de um fertilizante granulado à base de polihalita na adubação da soja e seu efeito residual no milho em sucessão. O experimento foi conduzido em área de Latossolo Vermelho, em blocos ao acaso, com quatro repetições e cinco tratamentos, padronizados pela quantidade de K₂O (80 kg ha⁻¹) e fornecidos na semeadura da soja: KCl, Polihalita, blend KCl+Polihalita na proporção de 72/28, KCl mais calcário e gesso e um tratamento controle. Os parâmetros produtivos, tanto da cultura da soja quanto do milho em sucessão, não foram alterados pelos tratamentos. A produção total de grãos do sistema soja-milho, no entanto, foi maior com a aplicação de polihalita. A exportação de K via grãos da soja foi maior com o uso da polihalita. Já na cultura do milho, a exportação dos nutrientes nos grãos não diferiu entre os tratamentos. Somente o uso da polihalita resultou em balanço positivo de Mg no sistema (+ 2,51 kg ha⁻¹). Já a aplicação de polihalita e/ou KCl ou KCl com gesso e calcário, mostrou-se adequada para evitar um balanço negativo de Ca e S via grãos no sistema soja-milho. Os teores de Mg e K no solo diferiram apenas na camada superficial do solo, com maiores teores nos tratamentos KCl Plus, polihalita e KCl+Polihalita. Os teores de Ca no solo na camada de 20-40 cm foram maiores com o uso da polihalita. Já os teores de S não diferiram entre os tratamentos nas camadas avaliadas.

Palavras-chave: *Glycine max*, *Zea mays*, cloreto de potássio, Poly4

ABSTRACT

SILVA, FRANCIELE DE FREITAS. Goiano Federal Institute - Rio Verde Campus – GO, October de 2019. **Use of polyhalite in soybean fertilization and its residual effect on corn production.** Advisor: DSc. Gustavo Castoldi. Co-Advisor: DSc. Alaerson Maia Geraldine and DSc^a. Mariângela Brito Freiberg.

The soybean-corn succession is the main grain production system in Brazil. This system is extremely demanding in fertility, so that the management of fertilization is essential to supply nutrients in a balanced way and guarantee productivity at a lower cost. Polyhalite is a K mineral source and other nutrients, recently explored on a large scale, which can be used as a fertilizer for plant production. The aim of this study was to evaluate the effect of a granulated fertilizer based on polyhalite on soybean fertilization and its residual effect on corn in succession. The experiment was carried out in a Red Latosol area, in random blocks, with four replications and five treatments, standardized by the amount of K₂O (80 kg ha⁻¹) and provided in the soybean seeding: KCl, Polihalita, KCl + Polihalita blend in 72/28 proportion, KCl plus limestone and gypsum, and a control treatment. The production parameters, both for soybean and corn in succession, were not altered by the treatments. The total grain production of the soybean-corn system, however, was higher with the polyhalite application. The K export by soybeans was higher with the polyhalite use. In the corn crop, the nutrients export in the grains did not differ between treatments. Only the polyhalite use resulted in a positive balance of Mg in the system (+ 2.51 kg ha⁻¹). The application of polyhalite and / or KCl or KCl with gypsum and limestone, proved to be adequate to avoid a negative balance of Ca and S by grains in the soybean-corn system. The Mg and K levels in soil differed only in the topsoil, with higher levels in the treatments KCl Plus, polyhalite and KCl + Polyhalite. The Ca levels in soil with 20-40 cm layer were higher with polyhalite use. The S levels did not differ between treatments in the evaluated layers

Keywords: *Glycine max*, *Zea mays*, Potassium Chloride, Poly4

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE TABELA.....	IX
LISTA DE SIGLAS.....	X
RESUMO.....	XI
ABSTRACT.....	XII
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
1.2 SISTEMA DE PRODUÇÃO SUCESSÃO SOJA-MILHO.....	1
1.3 ADUBAÇÃO NO SISTEMA SOJA-MILHO.....	1
1.4 POLIHALITA E SEU USO NA AGRICULTURA.....	3
1.5 REFERÊNCIAS.....	5
2. OBJETIVOS.....	7
3. CAPÍTULO I.....	8
3.2 INTRODUÇÃO.....	10
3.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3.3.1 <i>Caracterização da área experimental.....</i>	<i>11</i>
3.3.2 <i>Delineamento experimental e tratamentos.....</i>	<i>11</i>
3.3.3 <i>Implantação e condução dos ensaios e avaliações realizadas.....</i>	<i>12</i>
3.3.4 <i>Avaliações realizadas.....</i>	<i>13</i>
3.3.5 <i>Análise estatística.....</i>	<i>13</i>
3.4 RESULTADOS.....	14
3.4.1 <i>Cultivo da soja: Parâmetros produtivos e exportação de nutrientes..</i>	<i>14</i>
3.4.2 <i>Cultivo do milho: Parâmetros produtivos e exportação de nutrientes</i>	<i>15</i>
3.4.3 <i>Produção total de grãos do sistema soja-milho.....</i>	<i>16</i>
3.4.4 <i>Balanço simplificado de nutrientes no sistema soja-milho.....</i>	<i>17</i>
3.4.5 <i>Teores de Ca, Mg, K e S no solo.....</i>	<i>18</i>
3.5 DISCUSSÃO.....	19
3.5.1 <i>Cultivo da soja: Parâmetros produtivos e exportação de nutrientes..</i>	<i>19</i>
3.5.2 <i>Cultivo do milho: Parâmetros produtivos e exportação de nutrientes</i>	<i>20</i>
3.5.3 <i>Produção total de grãos do sistema soja-milho.....</i>	<i>21</i>
3.5.4 <i>Balanço simplificado de nutrientes no sistema soja-milho.....</i>	<i>21</i>
3.5.5 <i>Teores de Ca, Mg, K e S no solo.....</i>	<i>22</i>
3.6 CONCLUSÕES.....	24
3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	25

1. INTRODUÇÃO GERAL

1.2 Sistema de produção sucessão soja-milho

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja e o terceiro maior produtor mundial de milho (Tigges et al. 2016). Na safra 2018/19, o cultivo da soja ocupou cerca de 35,8 milhões de hectares das áreas brasileiras, e o milho segunda safra foi cultivado em aproximadamente 12,4 milhões de hectares (Companhia Nacional de Abastecimento 2019).

Em termos de soja, o desenvolvimento de cultivares de ciclo mais curto e a adoção do sistema de sucessão de culturas, aliado ao manejo da adubação são responsáveis em grande parte pelo aumento na produção (Duarte et al. 2013, Giachini et al. 2017). No Centro-Oeste brasileiro, principal região produtora do país, a soja é plantada em meados de outubro a dezembro, e o milho safrinha ou segunda safra, entre janeiro e março, podendo sofrer variações, dependendo da época de semeadura e colheita da soja, que pode ser afetada tanto pela falta ou excesso de chuva (Giachini et al. 2017; Companhia Nacional de Abastecimento 2019). Embora não se tenha estatística oficial, pode-se dizer que esse sistema de sistema soja-milho é o principal sistema de produção de grãos no Cerrado (Giachini et al. 2017).

As condições de cultivo para o milho na época da safrinha são menos favoráveis, principalmente se for semeado tardiamente, por causa da menor disponibilidade hídrica, redução da luminosidade e baixas temperaturas (Duarte 2015). Assim, o milho safrinha pode apresentar menor potencial de produção em relação ao cultivo da safra regular, que ocorre na primavera/verão (Tigges et al. 2016). Deste modo, é necessário promover estratégias de manejo capazes de melhorar o desempenho do milho, como a adubação (Duarte 2015).

O manejo adequado da fertilidade do solo é indispensável para o desempenho das culturas. A obtenção de altas produtividades e rentabilidades são desafios que envolvem o diagnóstico da fertilidade dos solos e estratégias adequadas de manejo da adubação (Gitti et al. 2017).

1.3 Adubação no sistema soja-milho

A soja, em comparação com as culturas como milho, trigo e girassol, consome grandes quantidades de K e apresenta elevada exportação, alcançando mais de 50% do total absorvido (Oliveira Junior et al. 2013). Já o milho exporta para os grãos em torno de 26 a 43% do K absorvido (Coelho 2006). Entretanto, é necessário salientar que a exigência nutricional e o potencial de exportação são definidos por fatores genéticos sob influência das condições climáticas (chuvas e temperaturas), fertilidade do solo e tratamentos culturais (Coppo 2017).

Em geral, as recomendações de adubação para as culturas soja e milho safrinha baseiam-se no conhecimento do potencial de extração das culturas, na fertilidade e tipo do solo, na produtividade esperada e no potencial econômico de resposta à aplicação dos fertilizantes (Duarte et al. 2013, Oliveira Junior et al. 2013).

As recomendações de calagem e gessagem visam corrigir a acidez do solo e tornar insolúvel o alumínio, e quando aliadas a outras práticas de manejo da fertilidade, têm a função de elevar a capacidade produtiva dos solos (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 2006). Em solos ácidos, geralmente ocorre o uso mais intenso de calcário, uma vez que para elevar o pH é preciso fornecer Ca e Mg em quantidades mais elevadas do que a necessária para satisfazer as necessidades das plantas (Dal Molin et al. 2019).

Já a necessidade de enxofre (S) pelas culturas é variável e depende da espécie e da produtividade esperada (Broch et al. 2011). A soja é exigente em S e pode apresentar resposta para a adubação sulfatada, especialmente em solos com baixa fertilidade, como em áreas de cerrado, que possuem elevada exportação de S pelos grãos por causa da alta produtividade (Broch et al. 2011). Não há dose ideal de S para a cultura da soja, entretanto, na literatura recomenda-se que na adubação de manutenção seja aplicado 10 kg de S para cada 1.000 kg de grãos esperados (Broch et al. 2011; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 2013).

Para o milho, recomenda-se suplementar S quando o teor de $S-SO_4^{2+}$, na camada subsuperficial (20-40 e 40-60 cm), for inferior a 5 mg dm^{-3} , podendo ser aplicado tanto na adubação de semeadura como a lanço em doses entre 20 kg ha^{-1} a 40 kg ha^{-1} (Duarte et al. 2013). As principais fontes de S disponíveis no mercado são gesso

agrícola (15% de S), superfosfato simples (12% de S) e enxofre elementar (98% de S) (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 2013).

O Brasil é um país extremamente dependente da importação de fertilizantes potássicos. A produção nacional não consegue atender a demanda, de modo que mais de 95% do K consumido no Brasil advém de outros países (Oliveira Junior et al. 2013). A maioria dos solos brasileiros possuem baixa disponibilidade de K, onde predominam formações de solos de elevado grau de intemperismo, com baixos níveis desse nutriente (Silva & Lazarini 2014).

Em áreas que o cultivo de soja é realizado há vários anos com aplicações adequadas de K, normalmente os níveis de K tendem equilibrar no solo, assim é necessário somente ter atenção com a reposição do nutriente para recompensar as quantidade exportada pela a cultura, lixiviação e por erosão (Silva & Lazarini 2014).

No manejo da adubação potássica em sistema de sucessão é importante considerar o balanço de K nas culturas que compõem o sistema de produção, para atender de forma adequada não só a necessidade da soja, mas também o balanço do sistema de produção, evitando a depleção gradual das reservas de K no solo (Oliveira Junior et al. 2013).

Em algumas regiões, a aplicação de todo o K da soja e do milho safrinha tem sido realizada antecipadamente e a lança apenas na semeadura soja em vez de se aplicar na semeadura das duas culturas (Duarte et al. 2013). Essa técnica é realizada principalmente para promover a eficiência das operações mecanizadas, porém, não é indicada em solos arenosos quando os teores de K no solo são baixos, pelo risco de perdas por lixiviação (Silva & Lazarini 2014).

1.4 Polihalita e seu uso na agricultura

A polihalita é um mineral natural que contém sulfato de K, de Ca e Mg ($K_2Ca_2Mg(SO_4)_4 \cdot 2H_2O$), de modo a apresentar 19% de S, 14% de K_2O , 17% de CaO e 6% de MgO (Yermiyahu et al. 2017, Mello et al. 2018a). É tipicamente incolor, branco a cinza, embora possa ser vermelho pela presença de óxidos de ferro. Caracteriza-se por ser um cristal único complexo e, usualmente, aparece em forma de pedaços maciços e fibrosos e as vezes como cristais tabulares (Yermiyahu et al. 2017).

A polihalita foi descoberta em 1818 por Friedrich Stromeyer em Salzburg, Áustria (ICL 2017). O uso como fertilizante teve início em 1932, em um experimento que avaliava a disponibilidade do K para as plantas (Fraps and Schimidt 1932). Desde então, seu uso como fertilizante tem sido considerado na agricultura (Barbarick 1991, PavulurI et al. 2017, Yermiyahu et al. 2017).

O mineral já foi identificado em diversos locais, como Texas (Novo México) e Cleveland Reino Unido (Fraps and Schimidt 1932, Kemp et al. 2016). No entanto, até recentemente, o uso da polihalita esteve limitado por não estar disponível comercialmente em todo o mundo (Mello et al. 2018a). Após a descoberta de depósitos mais abundantes, o uso da polihalita como fertilizante multinutriente tem se difundido cada vez mais (Kemp et al. 2016, Mello et al. 2018a).

Nos últimos anos, a polihalita mineral tem sido avaliada em diversos testes a fim de consolidar seu efeito em variadas condições e culturas, tais como trigo (Yermiyahu et al. 2017), batata (Mello et al. 2018a), tomate (Mello et al. 2018b) e soja (Melgar et al. 2018a), inclusive em solos do cerrado brasileiro (Dal Molin et al. 2019). Entretanto, ainda há poucas informações sobre o desempenho da polihalita em comparação às fontes de fertilizantes comerciais comumente usadas para fornecer K, Ca, Mg e S às plantas (Mello et al. 2018a).

O uso da polihalita tem se mostrado semelhante ou superior ao cloreto de potássio (KCl) e a misturas de outras fontes solúveis, sendo eficiente no fornecimento de K, Ca, Mg, S (Dal Molin et al. 2019). A polihalita libera nutrientes mais lentamente quando comparada com fontes de fertilizantes mais solúveis, sendo eficaz em solos ácidos e inférteis (Barbarick 1991). É considerada um meio adicional para melhorar a disponibilidade de K no solo, pois pode substituir os fertilizantes à base de KCl em solos deficientes em K (Melgar et al. 2018) .

Em um ensaio de campo com a cultura do tomate, o uso da polihalita em solo com baixo teor de K (23 mg kg^{-1}) possibilitou maiores teores de K e S na parte aérea e produtividade de frutos comercializáveis em relação a outras fontes de K; já em condições médias de K no solo (101 mg kg^{-1}) não houve respostas para os rendimentos totais e comercializáveis e para a maioria das concentrações de foliar, frutos e nutrientes no solo. (Mello et al. 2018b).

Um estudo sobre a eficiência da polihalita na liberação de nutrientes, mostrou que o efeito residual na cultura subsequente trigo pós trigo foi maior do que a aplicação equivalente de sais de sulfato (Yermiyahu et al. 2017). Neste estudo, ainda sugeriram que para atender as proporções necessárias de Ca, Mg e K da planta, a dose de polihalita deve ser baseada nos teores de Ca e Mg, e fertilizantes adicionais devem ser usados como fonte de K para atender adequadamente a planta.

Em um estudo com a sucessão soja-milho a aplicação de polihalita na proporção 3:1 de $P_2O_5:K_2O$ aumentou significativamente o rendimento de grãos de soja em relação ao KCl e ao controle sem adubação, já em uma proporção de 2:1 de $P_2O_5:K_2O$ não houve diferença significativa entre o KCl e a polihalita no rendimento da soja (Melgar et al. 2018). Nesse mesmo estudo, os autores não constataram diferenças significativas na produtividade do milho em sucessão.

1.5 Referências

- Barbarick KA. 1991. Polyhalite application to sorghum-sudangrass and leaching in soil columns. *Soil Sci.* 151 (2):159–166.
- Broch DL, Pavinato OS, Possenti JC, Martin TN, Quisqui EM. 2011. Produtividade da soja no cerrado influenciada pelas fontes de enxofre. [Soybean productivity in the cerrado influenced by sulfur sources]. *Rev Ciênc Agron.* 42(3):791–796.
- Coelho AM. 2006. Nutrição e Adubação do Milho. [Corn Nutrition and Fertilization]. Sete Lagoas (MG): Brazilian Agricultural Research Corporation corn and sorghum Technical Circular, 78.
- [CONAB] National Supply Company. 2019. Acompanhamento da safra brasileira grãos - Safra 2018/19. [Follow-up of the Brazilian grain crop - 2018/19 crop]. Brasília (DF): Grain crop newsletter - eighth survey.
- Coppo JC. 2017. Manejo da adubação potássica na cultura da soja e efeito residual na cultura do milho em sistema plantio direto no oeste do Paraná. [Management of potassium fertilization in soybean crop and residual effect on corn crop under no-tillage system in western Paraná]. [master's thesis]. Marechal Cândido Rondon (PR): State University of Western Paraná. Portuguese.
- Dal Molin SJ, Nascimento CO, Teixeira PC, Benites VM. 2019. Polyhalite as a potassium and multinutrient source for plant nutrition. *Arch agron soil sci* [accessed 2019 Jul 15]:[12 p.]. <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1631451>.
- Duarte AP. 2015. Milho safrinha se consagra e caracteriza um sistema peculiar de produção. [Safrinha corn is consecrated and characterizes a peculiar system of production]. *Visão agrícola.* 13:78–82.
- Duarte AP, Kurihara CH, Cantarella H. 2013. [Fertilization of safrinha corn in consortium with brachiaria]. In: Ceccon G, editor. [Corn-Brachiaria Consortium]. Brasília (DF): Brazilian Agricultural Research Corporation West Farming; p. 115–144. Portuguese.
- [EMBRAPA]. Brazilian Agricultural Research Corporation. 2006. Nutrição e Adubação do Milho. [Corn nutrition and fertilization.]. Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo.

- [EMBRAPA]. Brazilian Agricultural Research Corporation. 2013. Resumo para Formuladores de Políticas Tecnologias de Produção de Soja - Brasil Central 2014. [Summary for Policymakers, Soybean Production Technologies - Central Brazil 2014]. Londrina (PR): EMBRAPA Soybean.
- Frapgs GS. 1932. Availability to plants of potash in polyhalite. *Agric Mech Coll Texas Bulletin* No. 449:05–16.
- Galvão JCC, Miranda GV, Trogello E, Fritsche-Neto R. 2014. Sete décadas de evolução do sistema produtivo da cultura do milho. *Rev Ceres*. 61:819–828.
- Giachini RM, Ferreira RL, Santos CAR, Silva AG, Rech J, Fernandes AF, Silva AF. 2017. Panorama dos sistemas de produção de milho safrinha nas regiões Centro-Oeste e Nordeste do Brasil. [Overview of safrinha corn production systems in the Midwest and Northeast regions of Brazil]. In: Lecture book. Sete Lagoas, MG: XIV National Corn Harvest Seminar - Brazilian Corn and Sorghum Association. p. 282–320.
- Gitti DC, Roscoe R, Rizzato LA. 2017. Manejo e fertilidade do solo para a cultura da soja. [Soil management and fertility for soybean crop] In: Technology and Production: Soybean 2017/2018. Maracaju (MS): Fundação MS. p. 12–52.
- ICL. 2017. Polihalita, nossa necessidade por um mineral pré-histórico. Polyhalite, our need for a prehistoric mineral. *Newsletter Polysulphate*. [accessed 2019 Jun 30]. <http://www.polysulphate.com/br/informe-polysulphate/>.
- Kemp SJ, Smith FW, Wagner D, Mounteney I, Bell CP, Milne CJ, Gowing CJB, Pottas TL. 2016. An improved approach to characterize potash-bearing evaporite deposits, evidenced in North Yorkshire, United Kingdom. *Econ Geo*. 111 (3):719–742.
- Melgar RJ, Ventimiglia L, Figueroa E, Centurion O, Vale F. 2018. Polyhalite for grain in soybean-based production systems in Argentina and Paraguay. *Int Potash Inst*. 1(55): 3–12.
- Mello SC, Pierce FJ., Tonhati R, Almeida GS, Neto DD, Pavuluri K. 2018a. Potato response to Polyhalite as a potassium source fertilizer in Brazil: Yield and quality. *Hort Science*. 53(3):373–379.
- Mello SC, Tonhati R, Neto DD, Darapuneni M, Pavuluri K. 2018b. Response of tomato to polyhalite as a multi-nutrient fertilizer in southeast Brazil. *J Plant Nutr*. 41(16):126–2140.
- Oliveira Junior A, Castro C, Oliveira FA, Jordão LT. 2013. Adubação potássica da soja: cuidados no balanço de nutrientes. [Potassium fertilization of soybean: care in nutrient balance]. *International plant nutrition institute - Agronomic Information*. 143: 1-5.
- Pavuluri K, Malley Z, Mzimhiri MK, Lewis TD, Meakin R. 2017. Evaluation of polyhalite in comparison to muriate of potash for corn grain yield in the Southern Highlands of Tanzania. *Afric J Agron*. 5(3):325–332.
- Silva AF, Lazarini E. 2014. Doses and application seasons of potassium on soybean crop in succession the cover crops. *Semina*. 35(1):179–192.
- Tigges CHP, Andrade CLT, Melo BF, Amaral TA. 2016. Épocas de semeadura de milho em plantios de sequeiro e irrigado em Minas Gerais. [Corn sowing seasons in rainfed and irrigated plantations in Minas Gerais]. Sete Lagoas (MG): EMBRAPA. 16:1-20.
- Yermiyahu U, Ziporia I, Faingolda I, Yusopova L, Fausta N, Bar-Talb A. 2017. Polyhalite as a multinutrient fertilizer – potassium, magnesium, calcium and sulfate. *Israel J Plant Sci*. 64(3–4):145–157.

2. OBJETIVOS

Geral: Avaliar um fertilizante à base de polihalita na adubação da soja e seu efeito residual no milho cultivado em sucessão.

Específicos: Mensurar parâmetros produtivos da soja (altura, grãos por vagem, grãos “chochos”, peso de 100 grãos e produtividade de grãos) e do milho (número de fileiras por espiga, grãos por fileira e peso de 100 grãos e produtividade de grãos); Avaliar a exportação de nutrientes (K, Ca, Mg e S) via grãos pelas culturas da soja e milho; Analisar, após a colheita do milho, os teores de Ca, Mg, K e S no solo; Calcular o balanço simplificado de nutrientes (K, Ca, Mg e S) no sistema soja-milho.

3. CAPÍTULO I

Uso de polihalita na adubação da soja e seu efeito residual na produção de milho

(Archives of Agronomy and Soil Science)

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de um fertilizante granulado à base de polihalita na adubação da soja e seu efeito residual no milho em sucessão. O experimento foi conduzido em blocos ao acaso, com quatro repetições e cinco tratamentos padronizados pela quantidade de K_2O (80 kg ha^{-1}) fornecida na semeadura da soja com as fontes: KCl, Polihalita, KCl+Polihalita na proporção de 72/28, KCl mais calcário e gesso e um tratamento controle. Os parâmetros produtivos não foram alterados pelos os tratamentos. A exportação de K via grãos na soja e a produção total de grãos do sistema soja-milho foram maiores com a aplicação de polihalita. Somente o uso da polihalita resultou em balanço positivo de Mg no sistema ($+2,51 \text{ kg ha}^{-1}$). Já a aplicação de polihalita e/ou KCl ou KCl com gesso e calcário, mostrou-se adequada para evitar um balanço negativo de Ca e S via grãos no sistema soja-milho. Os teores de Mg e K no solo foram maiores com os tratamentos polihalita e/ou KCl ou KCl com gesso e calcário. Os teores de Ca no solo foram maiores com o uso da polihalita. Já os teores de S no solo não foram alterados pelos os tratamentos.

Palavras-chave: *Glycine max.* *Zea mays.* Cloreto de potássio. Poly4.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effect of a granulated fertilizer based on polyhalite on soybean fertilization and its residual effect on corn in succession. The experiment was carried out in random blocks, with four replications and five treatments standardized by the amount of K_2O (80 kg ha^{-1}) provided in soybean seeding with the sources: KCl, Polihalita, KCl + Polihalita in the proportion of 72/28, KCl plus limestone and gypsum and a control treatment. The productive parameters were not altered by the treatments. The K export by grains in soybeans and the total grain production of the soybean-corn system were higher with the polyhalite application. Only the polyhalite use resulted in a Mg positive balance in the system ($+2.51 \text{ kg ha}^{-1}$). The application of polyhalite and / or KCl or KCl with gypsum and limestone, proved to be adequate to avoid a negative balance of Ca and S by grains in the soybean-corn system. The Mg and K levels in soil were higher with the polyhalite and / or KCl or KCl treatments with gypsum and limestone. The Ca content in the soil was higher with polyhalite use. The S levels in the soil were not altered by the treatments.

Keywords: *Glycine max.* *Zea mays*. Potassium Chloride. Poly4.

3.2 Introdução

O cultivo do milho em sucessão à soja é o principal sistema de produção de grãos no Brasil (Galvão et al. 2014), terceiro maior produtor de grãos no mundo (USDA 2019). O fornecimento de nutrientes em níveis equilibrados é fator crítico para manter alta qualidade e produtividades desse sistema, principalmente, porque a maior parte desses grãos são produzidos na região do Cerrado, caracterizada por solos ácidos e com baixa disponibilidade de nutrientes. Para a produção de uma tonelada de grãos de soja, por exemplo, são necessários 38 kg ha⁻¹ de K₂O (Embrapa 2011; Oliveira Junior et al. 2013, Oliveira Junior et al. 2013b). Já no cultivo do milho, são necessários a cerca de 17,3 kg ha⁻¹ de K₂O por tonelada de grãos (Coelho, 2006).

A fertilização com K é fundamental para a produção de soja e milho, e juntamente com o N, é o nutriente mais demandado por essas culturas, de modo que o seu fornecimento via fertilizantes é fundamental para a sustentabilidade da atividade agrícola (Costa et al. 2013). O fornecimento de K é feito basicamente via KCl, que apresenta em sua composição ~60% de K₂O. A polihalita, por sua vez, é um fertilizante à base de sulfato, que além de potássio (14% K₂O), apresenta também enxofre (19% S), cálcio (17% CaO) e magnésio (6% MgO) (Yermiyahu et al. 2017). A descoberta de grandes reservas de polihalita ao norte do Reino Unido tem suscitado o interesse no uso desse mineral (Kemp et al., 2016), que surge como alternativa aos fertilizantes convencionais no Brasil (Dal Molin et al. 2019).

Estudos sobre o uso da polihalita na agricultura demonstram melhorias em rendimentos totais e na qualidade da batata (Mello et al. 2018a), aumento na produção de frutos e na concentração de nutrientes em tomate (Mello et al. 2018b), maior captação de minerais e produção de biomassa em trigo (Yermiyahu et al. 2017) e maior rendimento de matéria seca em milho (Dal Molin et al. 2019). Porém, ainda é necessário conhecer melhor o efeito e como utilizar fertilizantes à base de polihalita na adubação de culturas como a soja (*Glycine max.* L.) e o milho (*Zea mays* L.), particularmente quando cultivadas em sucessão (Melgar et al. 2018).

Neste contexto, objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de fertilizante à base de polihalita na adubação da soja e seu efeito residual no milho cultivado em sucessão, em um Latossolo Vermelho, na região do Cerrado brasileiro.

3.3 Material e métodos

3.3.1 Caracterização da área experimental

O estudo foi conduzido no município de Rio Verde, GO, Brasil, no ano agrícola 2017-18. O clima da região é classificado como AW, tropical, segundo classificação de Köppen-Geiger, apresenta estação seca no inverno e verão chuvoso, pluviometria anual média de 1400-1600 mm e temperatura média de 23-24°C (Cardoso et al. 2014).

O solo da área experimental é do tipo Latossolo Vermelho, de textura média (21% de argila), e antes da implantação do ensaio foi amostrado nas camadas 0-0,1 0,1-0,2, 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m para fins de análise química (Tabela 1).

Tabela 1 Parâmetros básicos de fertilidade do solo da área experimental anterior à implantação do ensaio. Rio Verde, GO, Brasil.

	Profundidade (m)			
	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,4	0,4-0,6
Química				
pH*	5,3	5,5	4,7	4,5
M.O. (g dm ⁻³)	20	21	15	11
P (mg dm ⁻³)	50	60	2	1
K (cmolc dm ⁻³)	0,16	0,22	0,09	0,06
Ca (cmolc dm ⁻³)	1,71	2,09	0,58	0,36
Mg (cmolc dm ⁻³)	1,14	1,37	0,33	0,30
S (mg dm ⁻³)	4,5	4,5	9	12
Al ⁺³ (cmolc dm ⁻³)	0,1	0,1	0,4	0,4
H+Al (cmolc dm ⁻³)	1,9	1,9	2,0	2,0
SB	3,0	3,7	1,0	0,7
CTC	4,91	5,58	3,0	2,72
m	0,27	3,4	9,5	9,0
V (%)	58,5	62,0	62,0	26,0

* pH em CaCl₂; M.O., Matéria orgânica do solo (Walkley-Black); P e K (Mehlich-1); Al, Ca e Mg (KCl 1mol L⁻¹); H + Al (extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹); CTC a pH 7,0, capacidade de troca de cátions; V, saturação por bases.

3.3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O ensaio foi conduzido em blocos ao acaso, com quatro repetições e cinco tratamentos: adubação somente com KCl, adubação somente com polihalita, adubação com o *blend* KCl e polihalita na proporção de 72/28, adubação com KCl mais fornecimento de calcário e gesso (KCl plus) e um tratamento controle, sem adubação potássica. Os

tratamentos foram embasados na dose padrão de K_2O (80 kg ha^{-1}), recomendada para o cultivo da soja (Tabela 2).

Tabela 2 Quantidade de nutrientes aplicados em cada tratamento, por ocasião da semeadura da soja.

Tratamentos	Nutrientes aplicados, kg ha^{-1}					
	K_2O	Mg	MgO	S	Ca	CaO
Controle	0	0	0	0	0	0
KCl	80	0	0	0	0	0
KCl Plus *	80	5,8	9,6	30,4	54,6	76,4
KCl/Poli (72/28)	80	5,8	9,6	30,4	19,4	27,2
Polihalita	80	20,6	34,3	108,6	69,4	97,1

*KCl Plus: KCl + calcário + gesso

** Caracterização dos produtos: KCl: 60% K_2O , Poly4: 14% K_2O , 19% S, 6% MgO e 17% CaO; Calcário: 18,43% Ca e 7,26% Mg; Gesso: 27,36% Ca e 20,86% S; MAP: 51% de P_2O_5 e 11% de N

As parcelas experimentais foram constituídas por dez linhas de plantas (espaçadas 0,5 m entre si), com 6 m de comprimento e 5 m de largura (30 m^2). Os tratamentos foram aplicados a lanço, no momento da semeadura da soja, de modo que o milho foi semeado em sucessão sem qualquer adubação potássica.

3.3.3 Implantação e condução dos ensaios e avaliações realizadas

A semeadura da soja foi realizada em 04 de novembro de 2017, com semeadora-adubadora mecânica para plantio direto na palha, linhas espaçadas 0,5 m entre si, e população esperada de 240 mil plantas ha^{-1} . A cultivar de soja utilizada foi a Flecha IPRO. A adubação fosfatada foi de 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 , aplicados a lanço no momento da semeadura e utilizando como fonte fosfato monoamônico (MAP).

O milho foi semeado em sucessão a soja, no dia 22 de fevereiro de 2018, com semeadora-adubadora mecânica para plantio direto na palha, linhas espaçadas 0,5 m entre si, e população esperada de 60 mil plantas ha^{-1} . O híbrido de milho utilizado foi o P3646. As parcelas do segundo experimento foram alocadas exatamente sobre as da soja cultivada anteriormente, com objetivo de avaliar o efeito residual dos tratamentos (Tabela 2). A única adubação realizada durante o cultivo do milho foi a nitrogenada de cobertura, realizada quando as plantas se encontravam no estágio V3, com 135 kg ha^{-1} de N, na forma de ureia tratada com inibidor de urease.

3.3.4 Avaliações realizadas

Por ocasião da colheita da soja (estádio R8), determinou-se a altura de 10 plantas por parcela, por meio da medição da distância entre a superfície do solo e a base da última folha. Dessas plantas, determinou-se ainda o número de vagens, o número de grãos, o número de grãos injuriados (“chochos”), a porcentagem de grãos chochos e o peso de 100 grãos (a 13% de umidade).

As duas fileiras centrais de cada parcela da soja foram então colhidas manualmente para determinação da produtividade de grãos. Os grãos foram processados e pesados. O teor de água nos grãos foi determinado e, em seguida, corrigido para 13% para o cálculo da produção, em kg ha^{-1} . Também foram coletadas amostras para analisar o teor de nutrientes dos grãos.

Na época da colheita do milho, os parâmetros de produtividade (número de fileiras por espiga, grãos por fileira e o peso de 100 grãos a 13% de umidade) foram determinados em 10 espigas por parcela. As duas fileiras centrais de cada parcela também foram colhidas manualmente para determinação da produtividade. Os grãos foram processados e pesados. Assim como na soja, o teor de água nos grãos foi determinado e, em seguida, corrigido para 13% para o cálculo da produção, em kg ha^{-1} . Também foram coletadas amostras para analisar o teor de nutrientes dos grãos.

As amostras de grãos da soja e do milho foram moídas em moinho de facas tipo Willey, e analisadas quanto aos teores de K, Ca, Mg e S, conforme metodologias descritas em Silva (2009). O K foi determinado por fotometria de chama; o Ca e o Mg por espectrometria de absorção atômica; e o S por turbidimetria.

Ao final dos experimentos, amostras de solo de todas as parcelas foram coletadas – nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m. As amostras foram peneiradas em peneira de malha dupla 2 mm e, em seguida, analisadas quanto aos teores de K, Ca, Mg e S (Silva, 2009).

O acúmulo de nutrientes nos grãos foi calculado por meio da multiplicação do teor de nutriente nos grãos pela matéria seca dos grãos, sendo os valores obtidos em kg ha^{-1} . E por fim fez-se o balanço simplificado dos nutrientes K, Ca, Mg e S do sistema soja-milho, obtido através do seguinte cálculo: nutriente fornecido via adubação – nutriente exportado pelos grãos de soja + milho.

3.3.5 Análise estatística

Os parâmetros produtivos foram submetidos a análise de variância, testando-se a normalidade dos resíduos e a homogeneidade das variâncias ao nível de significância de 5%. Quando detectado o efeito dos tratamentos pelo teste F, as médias foram comparadas pelo teste t (LSD) ao nível de 5% de probabilidade. Para a realização das análises estatísticas utilizou-se o software SISVAR (Ferreira 2011).

3.4 Resultados

3.4.1 Cultivo da soja: Parâmetros produtivos e exportação de nutrientes

Nos parâmetros produtivos da soja (Tabela 3) não se identificou qualquer diferença entre os tratamentos, assim como ocorrido para a exportação de Ca e S via grãos (Tabela 4). Para o K, a exportação pelos grãos de soja foi maior quando houve a aplicação de polihalita, particularmente quando comparada aos tratamentos controle e KCl (Tabela 4). Do mesmo modo que a exportação de K, o tratamento com KCl apresentou a menor exportação de Mg via grãos.

A quantidade de nutrientes extraídos pelos grãos de soja (valores médios) apresentou a seguinte ordem: $K > Ca > Mg > S$. As quantidades totais de nutrientes necessários para produzir uma tonelada de grãos de soja foram: 15,1; 3,15; 2,4 e 2,05 kg, respectivamente, para K, Ca, Mg e S.

Tabela 3 Parâmetros produtivos da soja (cultivar Flecha IPRO) em função da adubação com combinações e fontes de potássio.

Tratamentos	Altura de plantas	Grãos vagem	Grãos planta	Grãos “chochos” planta	% grãos “chochos” planta	Peso de 100 grãos	Produção de soja
	cm				%	g	kg ha ⁻¹
Controle	72,2	46,4	112,0	10,5	8,49	19,8	4375,0
KCl	73,0	42,4	114,7	9,75	7,89	19,4	4137,5
KCl Plus	72,1	45,5	110,8	12,6	10,2	19,2	4322,7
KCl/Poli	72,8	53,0	124,4	15,2	11,0	19,2	4483,0
Polihalita	74,1	55,8	135,6	15,2	10,3	19,9	4740,5
Média	72,9	48,6	119,5	12,6	9,59	19,5	4411,7
p valor	0,89 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,15 ^{ns}
CV (%)	4,11	18,2	19,2	27,3	24,1	3,23	7,07

Ns - não significativo ao nível de 5%, pelo teste t (LSD). C.V. – Coeficiente de variação.

Tabela 4 Exportação de potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca) e enxofre (S) via grãos de soja, cultivar Flecha IPRO, em função da adubação com combinações e fontes de potássio.

Tratamentos	K	Mg	Ca	S
	-----kg ha ⁻¹ -----			
Controle	65,4 cb	10,9 a	13,5 a	9,62 a
KCl	59,6 c	8,75 b	12,7 a	7,77 a
KCl Plus	67,5 ba	10,9 a	14,2 a	9,17 a
KCl/Poli	67,7 ba	11,2 a	13,9 a	8,47 a
Polihalita	72,5 a	11,1 a	15,3 a	10,2 a
Média	66,6	10,6	13,9	9,06
p valor	0,02**	0,02**	0,79 ^{ns}	0,28 ^{ns}
CV (%)	7,04	8,71	21,61	18,38

Médias seguidas de letras diferentes, na coluna e para cada variável, diferem entre si pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo; *significativo a 5% pelo teste t (LSD); C.V. – Coeficiente de variação.

3.4.2 Cultivo do milho: Parâmetros produtivos e exportação de nutrientes

Não houve diferença entre os tratamentos em relação aos parâmetros produtivos (Tabela 5) e exportação de nutrientes (Tabela 6) pelo milho. A quantidade de nutrientes extraída pelos grãos de milho (valores médios) apresentou a seguinte ordem: K > Mg > S > Ca. As quantidades totais de nutrientes necessárias para produzir uma tonelada de grãos de milho foram: 2,21; 0,88; 0,78 e 0,18 kg, respectivamente, para K, Mg, S e Ca.

Tabela 5 Parâmetros produtivos do milho, híbrido P3646, em função da adubação residual com combinações e fontes de potássio.

Tratamentos	Grãos por fileira	Fileira por espiga	Peso de 100 grãos	Produção de milho
			g	kg ha ⁻¹
Controle	28,4	15,3	26,7	5960,3
KCl	31,0	15,0	26,5	6045,1
KCl Plus	32,7	14,3	27,3	6718,7
KCl/Poli	30,2	14,5	27,3	6704,1
Polihalita	33,2	14,9	27,5	7589,6
Médias	31,1	14,8	27,1	6603,6
p valor	0,38 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,16 ^{ns}
CV (%)	11,6	3,93	3,62	14,0

Médias seguidas de letras diferentes, na coluna e para cada variável, diferem entre si pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo; *significativo a 5% pelo teste t (LSD); C.V. – Coeficiente de variação.

Tabela 6 Exportação de potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca) e enxofre (S) via grãos de milho, híbrido P3646, em função da adubação residual com combinações e fontes de potássio.

Tratamentos	K	Mg	Ca	S
	-----kg ha ⁻¹ -----			
Controle	11,8	5,26	1,64	4,62
KCl	13,6	5,07	1,13	4,62
KCl Plus	16,1	6,63	0,98	5,44
KCl/Poli	14,9	5,17	1,53	4,93
Polihalita	16,8	6,95	1,12	6,40
Média	14,6	5,82	1,19	5,19
p valor	0,70 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,45 ^{ns}
CV (%)	13,4	26,4	38,5	20,1

Médias seguidas de letras diferentes, na coluna e para cada variável, diferem entre si pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo; * significativo a 5% pelo teste t (LSD); C.V. – Coeficiente de variação.

3.4.3 Produção total de grãos do sistema soja-milho

Diferentemente do ocorrido para a produtividade de grãos de cada um dos cultivos, na produção total de grãos do sistema soja-milho houve diferenças entre os tratamentos, com a maior produção acumulada (12.330 kg ha⁻¹) quando da adubação do sistema com polihalita (Figura 3). Valores intermediários de produção acumulada foram obtidos pelos tratamentos com o blend KCl-Poli (11.187 kg ha⁻¹) e KCl Plus (11.041 kg ha⁻¹), enquanto os menores valores ocorreram nos tratamentos com KCl (10.183 kg ha⁻¹) e controle (10.335 kg ha⁻¹).

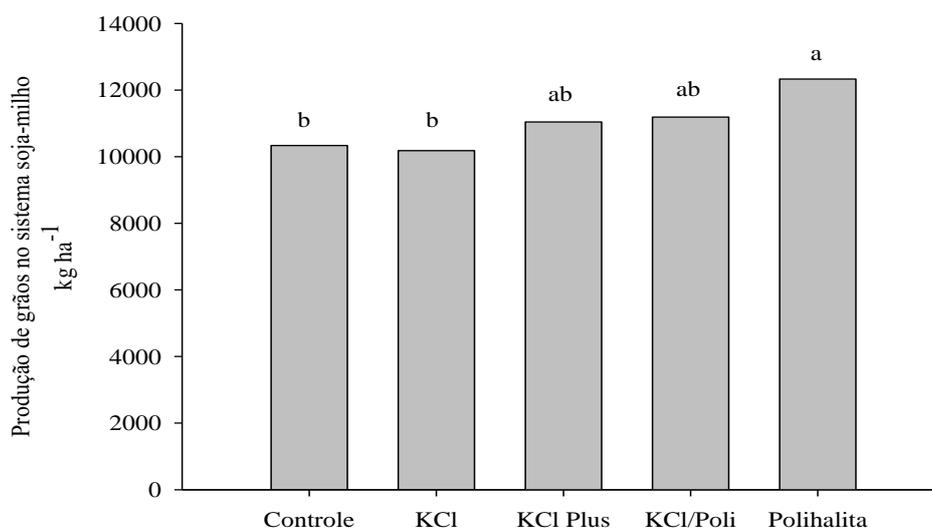


Figura 1 Produção acumulada de grãos no sistema soja-milho em função da adubação residual com combinações e fontes de potássio.

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t (LSD) a 5%.

3.4.4 Balanço simplificado de nutrientes no sistema soja-milho

O balanço de K no sistema soja-milho foi negativo em todos os tratamentos (Figura 2A), ou seja, a quantidade exportada de K foi maior do que a quantidade fornecida via fertilizante. Esse balanço foi mais negativo no tratamento controle ($-77,2 \text{ kg ha}^{-1}$), em que não se aplicou K no sistema soja-milho. Dentre os demais tratamentos, o uso de KCl foi o que apresentou balanço mais próximo da neutralidade ($-6,80 \text{ kg ha}^{-1}$).

O balanço de Mg no sistema soja-milho somente foi positivo quando da adubação com polihalita ($2,51 \text{ kg ha}^{-1}$) (Figura 2B). O fornecimento de fertilizantes combinados (*blend* KCl+Poli) apresentou balanço menos negativo do que a aplicação de KCl e o controle, e similar a aplicação de KCl Plus, que continha calcário como fonte de Mg.

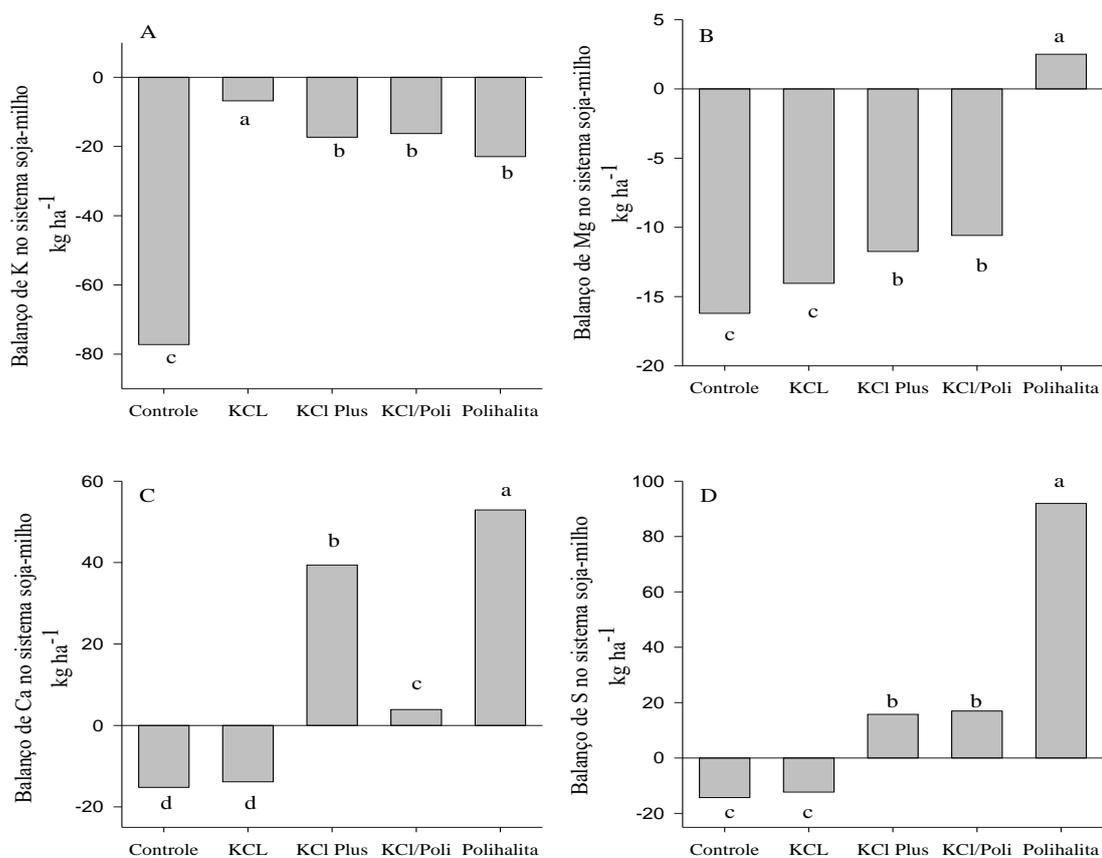


Figura 2 Balanço simplificado de potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em um sistema de sucessão soja-milho em função da adubação (base soja e residual no milho) com combinações e fontes de K.

* Balanço = Nutriente fornecido via adubação – Nutriente exportado grãos.

*Barras com letras diferentes (em cima ou abaixo) diferem entre si pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade.

Para Ca e S, o balanço foi positivo nos tratamentos KCl Plus, *blend* KCl/Poli e polihalita (Figuras 2C e 2D), com destaque para o tratamento com polihalita. Por outro lado, a ausência da adubação e a adubação somente com KCl resultaram, após um ciclo de cultivo do sistema soja-milho, em balanços negativos de Ca e S (Figuras 2C e 2D).

3.4.5 Teores de Ca, Mg, K e S no solo

Após os cultivos da soja e do milho, os teores de Ca no solo apresentaram diferenças na camada de 20-40 cm, em que o tratamento polihalita teve o maior valor médio ($10,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (Figura 3A). Quanto aos teores de Mg, houve diferenças apenas na camada superficial do solo, com maiores teores nos tratamentos KCl Plus, polihalita e KCl-Poli (Figura 3B). Para os teores de K também houve diferença na camada superficial, com o controle ($0,55 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em um extremo e o *blend* KCl-Poli ($1,37 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em outro, sendo que o *blend* apresentou maior teor de K do que os demais tratamentos (Figura 3C). Já nos teores de S não houve qualquer diferença entre os tratamentos nas camadas avaliadas (Figura 3D).

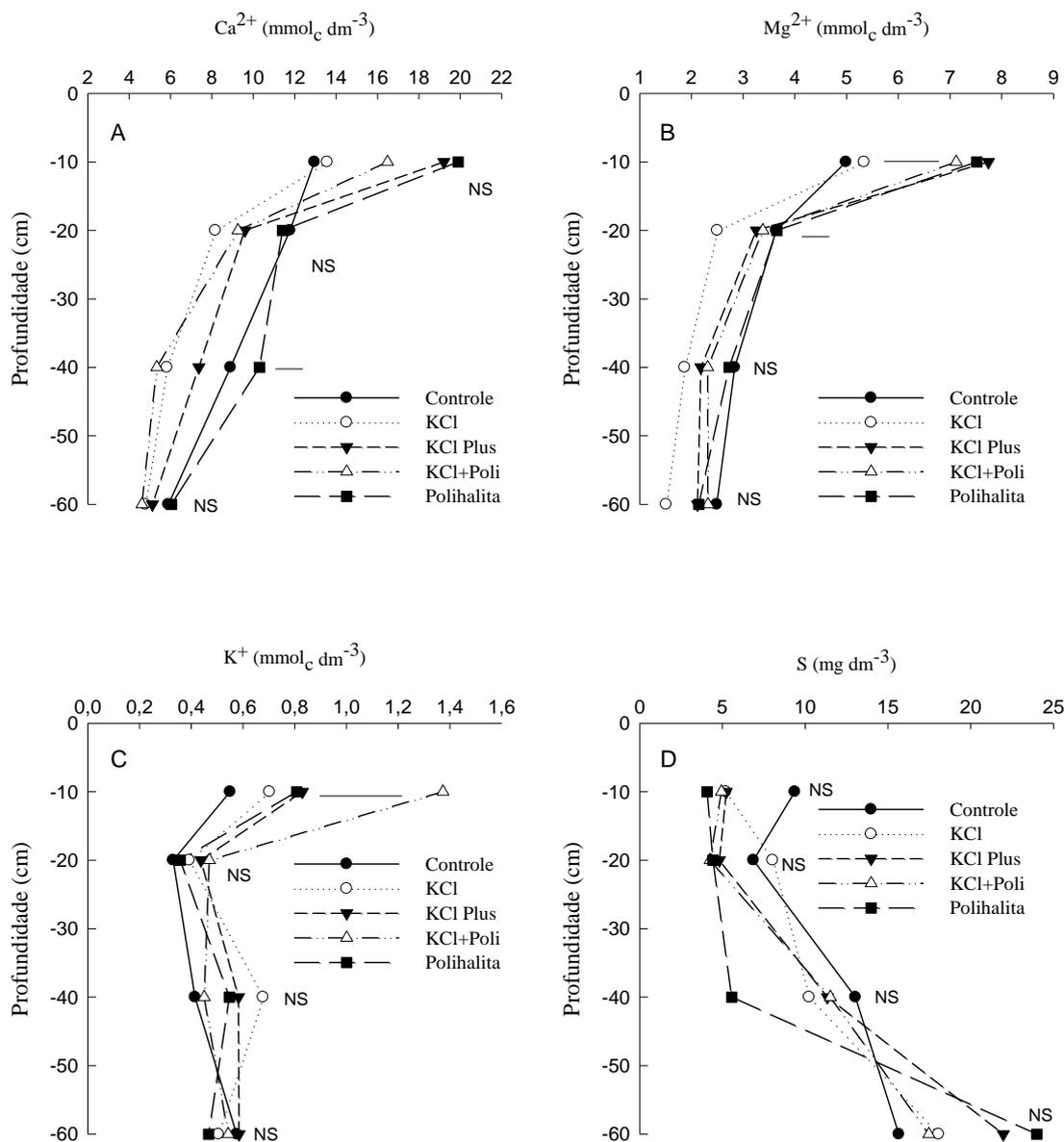


Figura 3 Concentração de cálcio (A), magnésio (B), potássio (C) e enxofre (D) no solo após o cultivo do sistema de sucessão soja-milho, em função da adubação (base soja e residual no milho) com combinações e fontes de K.

*Barras na horizontal representam a diferença mínima significativa (DMS) entre as médias pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade.

*NS: diferença não significativa.

3.5 Discussão

3.5.1 Cultivo da soja: Parâmetros produtivos e exportação de nutrientes

Por ocasião da implantação do ensaio, o teor de K na camada superficial (00-0,2 m) do solo (Tabela 2) estava acima do teor considerado limitante ($0,13 \text{ cmolc dm}^{-3}$) (Sousa & Lobato, 2004). Isso pode ter contribuído para a ausência de diferenças entre os tratamentos quanto aos parâmetros produtivos da soja (Tabela 3), haja vista que a cultura da soja pode apresentar baixa resposta à adubação potássica em solos com teor de K entre médio a alto (Mascarenhas et al. 1994, Korber et al. 2017, Cavalli & Lange 2018). De fato, são poucos os estudos que evidenciam respostas significativas ao uso de K em solos com alto teor do nutriente (Petter et al. 2012). Além disso, reservas de K no solo e/ou o K presente em resíduos culturais de milho consorciado com braquiária (*Urochloa ruzizienses*) podem suprir a necessidade da soja (Cavalli & Lange 2018).

A maior exportação de K e Mg nos tratamentos com polihalita, *blend* KCl/Poli e KCl Plus, é resultado direto da produtividade de grãos (estatisticamente iguais) e do teor desses nutrientes nos grãos, e pode ser explicadas por pequenas diferenças nesses parâmetros, particularmente quanto ao Mg, presente em maior quantidade nestes tratamentos. Quando do uso somente de KCl, houve menor exportação desses nutrientes, o que pode ser resultado da ausência de Mg no tratamento, mas também de um possível teor mais elevado de K solúvel no ambiente radicular, o que pode ter reduzido a absorção de Mg (Mello et al. 2018b).

3.5.2 *Cultivo do milho: Parâmetros produtivos e exportação de nutrientes*

A diferença de $1629,3 \text{ kg ha}^{-1}$ entre a produtividade de grãos do tratamento controle e do tratamento com polihalita não foi suficiente para que houvesse diferença significativa entre os tratamentos. No entanto, em ensaios realizados na Tanzânia, a adição de polihalita na adubação do milho resultou em incremento significativo de produtividade de grãos, da ordem de 218 kg ha^{-1} e 166 kg ha^{-1} em relação ao uso de N+P₂O₅ e de KCl+sulfato de Mg, respectivamente (Pavuluri et al. 2017).

A falta de resposta na exportação dos nutrientes K, Mg, Ca e S pelos grãos de milho (Tabela 6) pode estar relacionada a dose utilizada na adubação da soja (Tabela 1). Isso porque o maior efeito residual da polihalita no fornecimento de Ca, Mg e S para a cultura do trigo, cultivado após trigo, ficou evidente – em relação com outras fontes, como sais de sulfato – em dose mais elevada, 1500 kg ha^{-1} (Yermiyahu et al. 2017). Um estudo com fontes de K e S na adubação das culturas da soja e milho encontrou resultados que sugerem que a aplicação de polihalita deve ser baseada principalmente

na dose de S, por causa da resposta potencial de ambas as culturas ao nutriente e a maior concentração de S na polihalita em comparação com K (Sutradhar et al. 2016).

3.5.3 *Produção total de grãos do sistema soja-milho*

O uso de polihalita na adubação do sistema soja-milho incrementou em 17% a produção de grãos em relação à adubação com KCl (Figura 1). A maior produção total de grãos, com o uso da polihalita, KCl-Poli e KCL plus (Figura 1), pode ser atribuída ao fato desses manejos fornecerem, além de K, outros nutrientes essenciais (Ca, Mg e S). O fornecimento, principalmente de S, e a menor competição entre ânions cloreto e sulfato pela absorção radicular com o uso da polihalita pode também ter favorecido rendimentos mais elevados (Pavuluri et al. 2017).

O menor rendimento das culturas observado com o KCl pode ser atribuído para a alta concentração de cloretos no KCl, que pode diminuir a absorção de sulfatos (Pavuluri et al. 2017). A vantagem da polihalita sobre o KCl está relacionada ao seu padrão estável e de longo prazo de liberação do K, em contraste com a disponibilidade rápida, mas em declínio, do K após a aplicação do KCl (Bernadi et al. 2018). Além disso, a aplicação de polihalita diminui o transporte e a lixiviação de Ca, Mg, K e S no solo em relação a aplicação de sais de sulfato devido a afinidade adsorptiva às partículas do solo e dissolução mais lenta da polihalita (Yermiyahu et al. 2017).

3.5.4 *Balanco simplificado de nutrientes no sistema soja-milho*

A quantidade fornecida de K via adubação não foi suficiente para suprir a necessidade do sistema soja-milho, o que ocasionou em balanço negativo de K em todos os tratamentos (Figura 2A). A exportação de nutrientes pela colheita pode levar ao balanço negativo na reserva de nutrientes no solo, e conseqüente menor disponibilidade às plantas, particularmente em cultivos mais intensos (Steiner et al. 2015, Dal Molin et al. 2019)

O balanço positivo de Mg com o uso da polihalita na adubação do sistema soja-milho (Figura 2B) deve-se certamente à composição, que apresenta cerca de 6% de MgO. Opções de manejo da adubação que contribuam para manter teores adequados desse nutriente no solo são fundamentais, particularmente para áreas típicas de Cerrado. Isso porque as opções de fornecimento de Mg via adubação são poucas e/ou inviáveis

(em termos de custos ou logística), de modo que a principal entrada desse nutriente no solo é via calagem, que quando não realizada de maneira adequada resulta em lavouras com baixos teores de Mg, realidade muito comum em diversas áreas produtoras de soja e milho.

Já quanto ao balanço de Ca, o uso isolado de KCl, fonte que não contém Ca na formulação, favoreceu um balanço negativo. No entanto, quando se tem a combinação com fontes de Ca (polihalita ou gesso + calcário) pode-se melhorar esse balanço (Figura 2C). O uso somente da polihalita resultou em saldo mais positivo de Ca no sistema, principalmente pela quantidade de Ca (17% CaO) que possui em sua formulação. O maior aporte de Ca no sistema soja-milho, com o uso da polihalita, pode ser muito benéfico aos solos ácidos típicos do Brasil, aumentando a eficiência da calagem e a estruturação do solo (Mello et al. 2018b), além de ser muito importante na mitigação do Al tóxico (Costa et al. 2020).

A redução do teor de S no sistema soja-milho com o uso do KCl pode ser explicada pela ausência de S (Tabela 2), e também pela concentração de cloretos no KCl. A alta concentração de cloretos no KCl que pode diminuir a absorção radicular de sulfatos, assim a competição pode ser mais intensa em tratamentos com KCl por causa da adição de ânions de cloreto, juntamente com a falta de aplicação de S (Pavuluri et al. 2017; Mello et al. 2018b).

3.5.5 Teores de Ca, Mg, K e S no solo

O Ca tende a permanecer próximo à superfície do solo, uma vez que é adsorvido nas partículas do solo carregadas negativamente (Corá et al. 2019). O aumento de Ca no solo na camada de 20-40 cm com o uso da polihalita (Figura 3A), no entanto, possivelmente ocorreu pelo maior fornecimento de Ca, que resultou em aumento do conteúdo de Ca trocável no solo em comparação com o uso de KCl + calcário e gesso e o blend KCl.

O maior teor de Mg encontrado nas camadas superficiais se deve muito provavelmente a entrada de Mg no sistema, seja com uso da polihalita e/ou calcário (Figura 3B). Em diversas áreas produtoras de soja e milho no sudoeste Goiano, o Mg é o nutriente que mais limita a produtividade de grãos. A ausência de diferenças nas camadas mais subsuperficiais (20-40 e 40-60 cm) do solo indicam que não houve

lixiviação desse Mg presente do solo, refletindo em maior absorção de Mg (Tabela 4), maior produção (Figura 1) e também balanço mais positivo (Figura 2).

Quanto ao K, a falta de diferença nas camadas mais subsuperficiais (Figura 3C) possivelmente se deve ao alto teor de K disponível no solo (absorvido da fração trocável), e muito provavelmente também a frações não trocáveis de K que, podem manter estáveis os teores de K trocável do solo em cultivos sucessivos (Vieira et al. 2016), mesmo em solos mais intemperizados.

Já os teores de S disponíveis na camada de 0–60 cm não foram indicativos de diferenças entre os tratamentos (Figura 3D), apesar do balanço de S se mostrar positivo (Figura 2D). Isso pode ser atribuído em parte, a menor capacidade de adsorção de sulfatos e a alta percolação do íon sulfato para as camadas inferiores do solo (Tiecher et al. 2012). Essa pode ser uma das explicações para a não alteração dos teores de S disponível nas camadas.

Em geral, o saldo mais positivo no sistema (Figura 2) e teor de nutrientes no solo (Figura 3) com a aplicação da polihalita, principalmente, em relação ao tratamento controle, indica que este pode ser um fertilizante com melhores efeito residuais. No entanto, assim como em outro estudo (Dal Molin et al. 2019), o comportamento dos nutrientes no solo não foi claro, de modo que mais estudos são necessários para entender melhor as reações e a taxa de liberação de nutrientes provenientes da polihalita em solos brasileiros.

3.6 Conclusões

O tipo da fonte de K utilizada na adubação (polihalita e/ou KCl, e KCl com gesso e calcário) não resulta em alterações nos parâmetros produtivos da cultura soja e do milho. Em termos de exportação de nutrientes via grãos, o uso da polihalita aumenta a exportação de K pela soja, mas não altera a exportação de K, Mg, Ca e S pelo milho cultivado em sucessão.

A produtividade de grãos de soja e milho não é alterada pelo uso isolado ou combinado de polihalita e/ou KCl ou mesmo KCl + gesso + calcário. O rendimento total de grãos do sistema soja-milho é mais elevado com o uso da polihalita, sendo o uso do *blend* KCl+Polihalita e do KCl + gesso + calcário melhores também em relação ao controle e ao KCL.

A aplicação de 80 kg ha⁻¹ de K, via polihalita e/ou KCl, e KCl + gesso + calcário, não é suficiente para suprir a quantidade de K exportado pelos grãos no sistema soja-milho, resultando em balanço negativo de K. Já para Ca e S, o uso da polihalita isolada ou em *blend* com o KCl, ou mesmo KCl + gesso + calcário, resulta em balanço positivo. Para Mg, no entanto, o balanço somente é positivo quando do uso isolado de polihalita.

3.7 Referências Bibliográficas

- Bernardi ACC, Souza GB, Vale F. 2018. Polyhalite compared to KCl and gypsum in alfalfa fertilization. *Int Potash Inst.* 1(52):03–09.
- Cardoso MR, Marcuzzo FFN, Barros JR. 2014. Climatic Classification of Köppen-Geiger for the state of goiás and the federal district. *Acta geográfica.* 8(16):40-55.
- Cavalli E, Lange A. 2018. Efeito residual do Potássio no sistema de cultivo soja-milho safrinha no cerrado Mato-Grossense. [Potassium residual effect on the soybean-safrinha crop system in the Cerrado Mato-Grossense]. *Cult Agron.* 27(2):310–326.
- Coelho AM. 2006. Nutrição e Adubação do Milho. [Corn Nutrition and Fertilization]. Sete Lagoas (MG): Brazilian Agricultural Research Corporation corn and sorghum Technical Circular, 78.
- Corá J, Lagarrigue D, Lewis T. 2019. Evaluating the effectiveness of gypsum and polyhalite-based fertilizer poly4 on changing subsoil chemical attributes in a brazilian oxisol.
- Costa AC, Vasconcelos CV, Müller C, Castoldi G, Costa AM, Barbosa KP, Rodrigues AA, Silva AA. 2020. Potential of calcium nitrate to mitigate the aluminum toxicity in *Phaseolus vulgaris*: effects on morphoanatomical traits, mineral nutrition and photosynthesis. *Ecotoxicology.* 30:1-14. <https://doi.org/10.1007/s10646-020-02168-6>
- Costa EM, Silva HF, Ribeiro PRA. 2013. Matéria orgânica do solo e seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. [Soil organic matter and its role in the maintenance and creation of agricultural systems]. *Enciclopédia Biosfera.* 9(17):1842-1860. Portuguese.
- Dal Molin SJ, Nascimento CO, Teixeira PC, Benites VM. 2019. Polyhalite as a potassium and multnutrient source for plant nutrition. *Arch agron soil sci* [accessed 2019 Jul 15]:[12 p.]. <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1631451>.
- [EMBRAPA] Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2011 *Tecnologias de Produção de Soja - Região Central do Brasil 2012 e 2013*. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 264p. (Sistema de Produção/Embrapa Soja, n.15)
- Ferreira DF. 2011. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. [Sisvar: the computational system of statistical analysis]. *Ciênc agrotec.* 35(6):1039-1042. Portuguese.
- Galvão JCC, Miranda GV, Trogello E, Fritsche-Neto R. 2014. Sete décadas de evolução do sistema produtivo da cultura do milho. [Seven decades of evolution of the corn crop production system]. *Rev Ceres.* 61:819–828. Portuguese.
- Kemp SJ, Smith FW, Wagner D, Mounteney I, Bell CP, Milne CJ, Gowing CJB, Pottas TL. 2016. An improved approach to characterize potash-bearing evaporite deposits, evidenced in North Yorkshire, United Kingdom. *Econ Geo.* 111 (3):719–742.
- Korber AHC, Pinto LP, Piveta LA, Albrecht LP, Frigo KDA. 2017. Adubação nitrogenada e potássica em soja sob sistemas de semeadura. [Nitrogen and potassium fertilization in soybean under sowing systems]. *Journal of Neotropical Agriculture.* 4(4):38–45. Portuguese.
- Lewis TD, Hallett PD, Paton GI, Harrold L. 2020. Retention and release of nutrients form polyhalite to soil. *Soil use Manage.* 36:117-122.
- Mascarenhas HAA, Tanaka RT. 1994. Efeito de adubos potássicos na produção de soja. [Effect of potassium fertilizers on soybean production]. *Sci Agri.* 51(1):82–89. Portuguese.
- Melgar RJ, Ventimiglia L, Figueroa E, Centurion O, Vale F. 2018. Polyhalite for grain in soybean-based production systems in Argentina and Paraguay. *Int Potash Inst.*

- 1(55): 3–12.
- Mello SC, Pierce FJ., Tonhati R, Almeida GS, Neto DD, Pavuluri K. 2018a. Potato response to Polyhalite as a potassium source fertilizer in Brazil : Yield and quality. *Hort Science*. 53(3):373–379.
- Mello SC. Tonhati R, Neto DD, Darapuneni M, Pavuluri K. 2018b. Response of tomato to polyhalite as a multi- nutrient fertilizer in southeast Brazil. *J Plant Nutr*. 41(16):126–2140.
- Minerals S. 2018. Solubility Poly4 characteristics. London: Poly4 a Sirius Minerals product; [accessed 2019 Out 10]. <https://www.poly4.com/poly4/product-characteristics/>.
- Nascimento M, Loureiro FEL. 2004. Fertilizantes e Sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas. [Fertilizers and Sustainability: Potassium in Brazilian Agriculture, Alternative Sources and Routes]. Rio de Janeiro: Study and Documents Series.
- Oliveira Junior A, Castro C, Oliveira FA, Jordão LT. 2013. Adubação potássica da soja: cuidados no balanço de nutrientes. [Potassium fertilization of soybean: care in nutrient balance]. *International plant nutrition institute - Agronomic Information*. 143: 1-5.
- Oliveira Junior A, Castro C, Oliveira FA. 2013. Adubação potássica da soja: é preciso repor K exportado pelas colheitas. [Potassium fertilization of soybeans: it is necessary to replace K exported by crops]. Londrina: Embrapa Soja; p. 3. Portuguese.
- Pavuluri, K, Malley Z, Lewis T, Meakin R. 2017. Evaluation of polyhalite in comparison to muriate of potash for corn grain yield in the Southern Highlands of Tanzania. *Afric J Agron*. 5(3):325–332.
- Petter FA, Silva JÁ, Pacheco LP, Almeida FA, Neto FA, Zulfo AM, Lima LB. 2012. Desempenho agrônômico da soja a doses e épocas de aplicação de potássio no cerrado piauiense. [Agronomic performance of soybean as a function of potassium in the cerrado of the State of Piauí]. *Rev Cienc Agrar*. 55(3)190–196. Portuguese.
- Silva, FC. 2009. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2nd ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. Portuguese.
- Sirius Minerals (2018). The Deposit. Retrieved from <https://siriusminerals.com/poly4/the-deposit/>.
- Sousa DM, Lobato E. 2004. Cerrado: Correção do solo e adubação. [Cerrado: Soil correction and fertilization]. 2nd ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. Portuguese.
- Steiner F, Lana MC, Zoz T, Frandoloso JF. 2015. Changes in potassium pools in Paraná soils under successive cropping and potassium fertilization. *Semina*. 36(6): 4083–4098.
- Sutradhar A, Kaiser DE, Rosen CJ (2016). ‘Evaluation of polyhalite as a source of potassium and sulfur for a corn-soybean rotation in Minnesota’, *Proceedings of the 46th North Central Extension-Industry Soil Fertility Conference*. 32:125 -135
- Tiecher T, Santos DR, Rasche JWA, Brunetto G, Mallmann FJK, Piccin R. 2012. Respostas de culturas e disponibilidade de enxofre em solos com diferentes teores de argila e matéria orgânica submetidos à adubação sulfatada. *Bragantia*. 71(04):518-527.
- [USDA] United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service. 2019. World Agricultural Production. Circular Series. WAP 12-19: 1-31.
- Vale F, Sérgio DR. 2017. Introducing Polyhalite to Brazil: First Steps of a New Fertilizer. *International Potash Institute*. [accessed 2019 Out 10]

<https://www.ipipotash.org/publications/eifc-406>.

- Vieira MS, Oliveira FHT, Santos HC, Medeiros JS. Capacidade de surpimento de potássio em doze classes de solos em função de cultivos sucessivos de milho. 2016. Rev Cienc Agrar. 59(3):2019-227.
- Yermiyahu U, Ziporia I, Faingolda I, Yusopova L, Fausta N, Bar-Talb A. 2017. Polyhalite as a multinutrient fertilizer – potassium, magnesium, calcium and sulfate. Israel J Plant Sci. 64(3–4):145–157.